

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/006199

International filing date: 24 March 2005 (24.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-088077
Filing date: 24 March 2004 (24.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2004年 3月24日

出願番号 Application Number: 特願2004-088077

パリ条約による外国への出願に用いる優先権の主張の基礎となる出願の国コードと出願番号

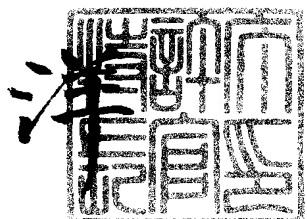
The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is

出願人 Applicant(s): 独立行政法人科学技術振興機構

2005年 4月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 P2445JST
【提出日】 平成16年 3月 24日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 29/28
【発明者】
【住所又は居所】 東京都杉並区荻窪 3-47-8
【氏名】 鯉沼 秀臣
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市青葉区美しが丘 2-17-41
【氏名】 伊高 健治
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市青葉区松風台 21-13 S205号
【氏名】 山城 貢
【特許出願人】
【識別番号】 503360115
【氏名又は名称】 独立行政法人科学技術振興機構
【代理人】
【識別番号】 100082876
【弁理士】
【氏名又は名称】 平山 一幸
【電話番号】 03-3352-1808
【選任した代理人】
【識別番号】 100069958
【弁理士】
【氏名又は名称】 海津 保三
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 031727
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0316160

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

基板上に、バッファー層と有機薄膜とが順次積層されたことを特徴とする、有機薄膜を有する基板。

【請求項 2】

さらに、前記基板と前記バッファー層との間に前記バッファー層と配向しやすい層が挿入されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 3】

前記基板は絶縁基板であり、前記バッファー層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、前記有機薄膜は C_n フラーレン（ここで、n は 60 以上の整数）又は C_n フラーレン誘導体であることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 4】

前記基板はサファイア基板、前記バッファー層はペンタセン、前記有機薄膜は C_{60} であることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 5】

前記サファイア基板の表面が平坦化処理され、前記ペンタセンから成るバッファー層が分子層単位で積層されていることを特徴とする、請求項 4 記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 6】

基板上に形成された有機薄膜を備えたトランジスタであって、

上記有機薄膜が、バッファー層を介して上記基板に積層されていることを特徴とする、トランジスタ。

【請求項 7】

さらに、前記基板と前記バッファー層との間に前記バッファー層と配向しやすい層が挿入されていることを特徴とする、請求項 6 に記載のトランジスタ。

【請求項 8】

前記基板はサファイア基板であり、前記バッファー層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、前記有機薄膜は C_n フラーレン（ここで、n は 60 以上の整数）又は C_n フラーレン誘導体であることを特徴とする、請求項 6 又は 7 に記載のトランジスタ。

【請求項 9】

基板上にバッファー層と有機薄膜とが順次積層される工程を含んでいることを特徴とする、有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 10】

さらに、前記基板と前記バッファー層との間に前記バッファー層と配向しやすい層を挿入することを特徴とする、請求項 9 に記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 11】

前記基板は絶縁基板であり、前記バッファー層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、前記有機薄膜は C_n フラーレン（ここで、n は 60 以上の整数）又は C_n フラーレン誘導体であることを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 12】

前記基板はサファイア基板、前記バッファー層はペンタセン、前記有機薄膜は C_{60} であることを特徴とする請求項 9 ~ 11 の何れかに記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 13】

前記サファイア基板の表面が平坦化処理され、前記ペンタセンから成るバッファー層が分子層単位で積層されていることを特徴とする、請求項 12 に記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 14】

トランジスタの製造方法において、

請求項 9 乃至 13 の何れかに記載の有機薄膜を有する基板の製造方法を用いてトランジスタを製造することを特徴とする、トランジスタの製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、有機半導体を用いたデバイスの進歩は目覚しいものがあり、有機半導体薄膜をチャネルとする電界効果トランジスタ（以下、単にFETと呼ぶ）の研究が鋭意進められている。これらのFETは、大部分がp型FETであり、n型FETの報告例は少ない。n型有機半導体として、フラーレン（C₆₀）が注目されている。FETや超格子構造を有するデバイスでは、原子レベルで、組成や膜厚の異なる薄膜を順次形成するために、2次元的な薄膜を作製する必要がある。

しかしながら、従来の無機半導体であるシリコンや化合物半導体と比べると、その製造レベルは非常に低い。

【0003】

これらの有機半導体薄膜の製造方法の一つとして真空蒸着法が知られており、金属上には、C₆₀薄膜が2次元的に成膜できることが知られている。また、C₆₀などのフラーレン系材料による電界効果トランジスタを製造するためには、金属上ではなくSiや絶縁物基板上に高品質な薄膜を堆積する必要がある。例えば、非特許文献1には、水素で終端したシリコン（Si）基板上へのC₆₀薄膜形成が報告されている。

【0004】

図12は、非特許文献1のSi基板上へ堆積したC₆₀の薄膜のAFM（原子間力顕微鏡）写真であり、（a）がAFM像、（B）がC₆₀薄膜の断面模式図である。なお、AFM像の測定領域は、4 μm × 4 μmである。図から明らかのように、2次元成長は得られなく、厚さが約10 nm（100 Å）で、1～2 μmの大きさの柱状結晶がSi基板上に点在し、所謂3次元成長している。

【0005】

【非特許文献1】K. Ueno他2名, "Van der Waals epitaxy on hydrogen-terminated Si(111) surfaces and investigation of its growth mechanism by atomic force microscope", 1995年, J. Crystal. Growth, Vol. 150, pp. 1180-1185

【非特許文献2】信光社カタログ、2002年

【非特許文献3】J. S. Wu他1名, "Electron diffraction of thin-film pentacene", 2004年, J. Appl. Cryst., Vol. 37, p. 78

【非特許文献4】化学、1991年12月、Vol. 46, p. 857

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

C₆₀などのフラーレン系材料による電界効果トランジスタを実用化するためには、金属上ではなく、Siや絶縁物基板上に平坦な2次元成長膜を形成することが強く要求されている。しかしながら、C₆₀薄膜を絶縁基板上に成長させる場合には、柱状成長をしやすく、高品質な薄膜が得られないという課題がある。

【0007】

ところが、本発明者らは、C₆₀などの有機材料とサファイア基板などとの間に、ペンタ

センなどの材料からなるバッファー層を挿入することにより、C₆₀などの有機材料を二次元成長できることを見出し、本発明に想到した。

【0008】

そこで、本発明は上記課題に鑑み、C₆₀などの有機薄膜を二次元成長できる、有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するため、本発明の有機薄膜を有する基板は、基板上に、バッファー層と有機薄膜とが順次積層されていることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、基板とバッファー層との間にバッファー層と配向しやすい層が挿入されている。

好ましくは、基板は絶縁基板であり、バッファー層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、有機薄膜はC_nフラーーゲン（ここで、nは60以上の整数）又はC_nフラーーゲン誘導体である。また、好ましくは、基板はサファイア基板であり、バッファー層はペンタセンであり、有機薄膜はC₆₀である。また、好ましくは、サファイア基板の表面が平坦化処理され、ペンタセンから成るバッファー層が分子層単位で積層されている。

【0010】

上記構成によれば、C₆₀などの有機薄膜の結晶成長が従来困難であった絶縁性の基板との間に特定の材料からなるバッファー層を挿入することにより、非常に平坦な单分子層単位の薄膜を形成できるため、これを成長させてから有機薄膜を成長させることができる。このため、基板とC₆₀などの有機薄膜との間の歪を緩和させて、C₆₀などの有機薄膜を二次元成長でき、しかも、その結晶粒径を拡大させることができる。これにより、結晶品質の高い有機薄膜が得られ、有機薄膜の移動度などの諸特性が向上した、有機薄膜を有する基板を提供できる。

【0011】

また、本発明のトランジスタは、基板板上に形成された有機薄膜を備えたトランジスタであって、有機薄膜が、バッファー層を介して基板に積層されていることを特徴とする。

上記構成において、さらに、好ましくは、基板と前記バッファー層との間にバッファー層と配向しやすい層が挿入されている。また、好ましくは、基板はサファイア基板であり、バッファー層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、有機薄膜はC_nフラーーゲン（ここで、nは60以上の整数）又はC_nフラーーゲン誘導体である。

【0012】

上記構成によれば、C₆₀などの有機薄膜と基板との間に、特定の材料からなるバッファー層を挿入することにより基板とC₆₀などの有機薄膜との間の歪を緩和して、C₆₀などの有機薄膜を二次元成長でき、その結晶粒径を拡大させることができる。このため、結晶品質の高い有機薄膜が得られる。従って、有機薄膜の移動度が向上することにより性能の高い電界効果トランジスタなどのトランジスタを提供することができる。

【0013】

また、本発明の有機薄膜を有する基板の製造方法は、基板上にバッファー層と有機薄膜とが順次積層される工程を含んでいることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、基板とバッファー層との間にバッファー層と配向しやすい層を挿入する。

また、好ましくは、基板は絶縁基板であり、バッファー層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、有機薄膜はC_nフラーーゲン（ここで、nは60以上の整数）又はC_nフラーーゲン誘導体である。また、好ましくは、基板はサファイア基板であり、バッファー層はペンタセンであり、有機薄膜はC₆₀である。また、好ましくは、サファイア基板の表面が平坦化処理され、ペンタセンから成るバッファー層が分子層単位で積層されている。上記構成によれば、基板上に結晶品質の高い有機薄膜を形成することができる。

【0014】

また、本発明のトランジスタの製造方法は、上記の有機薄膜を有する基板の製造方法を用いてトランジスタを製造することを特徴とする。

【0015】

上記構成によれば、基板上に結晶品質の高い有機薄膜を形成し、この有機薄膜を用いたトランジスタを製造することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、絶縁基板などの表面にバッファー層を介した結晶品質の高い、有機薄膜を有する基板を得ることができる。また、この有機薄膜を用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法が提供されることになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、図面に示した実施形態に基づいて本発明を詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

初めに本発明の第1の実施の形態による有機薄膜を有する基板について説明する。

図1は、本発明に係る第1の実施形態による有機薄膜を有する基板の断面図である。図1に示すように、本発明の有機薄膜を有する基板1は、基板2上に、第1の有機材料から成るバッファー層3と、第2の有機材料としてC₆₀などの有機薄膜4と、が順次積層されている構造を有している。

【0018】

ここで、基板2は、六方晶系のサファイア基板、ガラス基板、石英基板、及びポリイミドのような有機材料が配向しやすい基板であれば、何でもよい。そして、基板2表面は可能な限り平坦な基板を使用することが望ましいが、基板2の表面荒さがバッファー層3となる材料の分子層程度以下とすることが好適である。例えば、上記バッファー層3が後述するペンタセン薄膜3の場合、表面粗さが約15Å程度の基板であれば、本発明の手法が適用可能である。また、基板1の上にデバイス構造を形成するのに必要な他の金属や絶縁体の薄膜を積層した基板に成膜を行う場合でも、同様の面粗さが局所的に満たされていればよい。

【0019】

また、バッファー層3は、三斜晶系のペンタセンをはじめとするアセン系有機材料との誘導体を用いることができる。

【0020】

また、有機薄膜4は、C_n フラーレン（ここで、nは60以上の整数）またはC_n フラーレン誘導体を用いることができる。C_n フラーレンとしては、六方晶系のC₆₀のほかに、C₇₀、C₁₂₀などを用いることができる。

【0021】

図2は、本発明に係る第1の実施形態による有機薄膜を有する基板の変形例の断面図である。

図2に示すように、本発明の有機薄膜を有する基板10が、図1の有機薄膜を有する基板1の構造と異なるのは、基板2とバッファー層3との間に、さらに、基板2又は／及びバッファー層3と配向しやすい層5が挿入されている点である。この基板2又は／及びバッファー層3と配向しやすい層5は、絶縁層を用いることができる。ここで、絶縁層5は、基板2上に堆積したSiO₂やAl₂O₃薄膜などでもよい。

【0022】

このようにして、本発明の有機薄膜を有する基板1、10においては、バッファー層3の厚さを1分子層から10分子層程度挿入することにより、C₆₀などの有機薄膜4と基板2との格子歪が緩和できる。なお、本発明においては、上記の1分子層から10分子層程度のバッファー層3の膜厚を分子層単位のバッファー層3と呼ぶ。

【0023】

ここで、バッファー層3の挿入により有機薄膜4の2次元成長が得られ易くなる理由に

について説明する。

例えば、ペンタセン薄膜から成るバッファー層3及びC₆₀薄膜4の場合について推察する。ペンタセン自体は、π電子がベンゼン環に垂直に飛び出しており、それらの方向が重要となる。一般に有機薄膜のπ電子は、金属には配向の相性がよいが、絶縁物とは反発し易い。

しかしながら、ペンタセン薄膜3が基板2に堆積した後には、ペンタセン薄膜3のπ電子が歪んでいると推定される。このため、ペンタセン薄膜3上にC₆₀を堆積した場合には、C₆₀の2次元成長が得られ易くなると考えられる。

これにより、バッファー層3の挿入によってC₆₀などの有機薄膜4の2次元成長が促進され、著しく平坦性が改善された有機薄膜4を有する基板1, 10が得られる。

【0024】

次に、本発明の有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタに係る第2の実施形態を説明する。

図3は、本発明に係る第2の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの構造を模式的に示す断面図である。トランジスタは、電界効果トランジスタの場合を示している。図に示すように、電界効果トランジスタ20は、絶縁性の基板25上に、バッファー層3と有機薄膜4とが順次積層され、有機薄膜4上にゲート絶縁膜21が堆積された構造を有している。そして、ゲート絶縁膜21上にはゲート電極22が、チャネルとなる有機薄膜4上には、ソース電極23及びドレイン電極24が配設されている。

【0025】

図4は、本発明に係る第2の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの変形例の断面図である。トランジスタは電界効果トランジスタの場合を示している。図に示すように、電界効果トランジスタ30は、ゲート電極22とゲート絶縁膜21が堆積された基板25上に、バッファー層3と有機薄膜4とが順次積層された構造を有し、ゲート絶縁膜21内にゲート電極22が、チャネルとなる有機薄膜4上には、ソース電極23及びドレイン電極24が、それぞれ配設されている。最上層には、保護膜26が堆積されていてもよい。

なお、ゲート電極22、ソース電極23及びドレイン電極24は、図示しない領域で、ボンディング領域が形成されている。

【0026】

ここで、ゲート絶縁膜21の材料としては、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、誘電性ポリマーなどの酸化物、硫化物、有機物などを用いることができる。特に、リーグ電流が少なく、絶縁破壊電圧が高く、誘電率の大きい材料が電界を印加し易いという点で好ましい。

また、ゲート電極22の材料としては、アルミニウム(A1)、金(Au)、又はこれらの材料を添加したシリコン(Si)などを用いることができる。これらの材料は、有機薄膜4の仕事関数やFETの動作方法によって、適切なものを用いればよい。また、ソース電極23及びドレイン電極24の材料としては、アルミニウムや金などが挙げられる。これらの材料は電気伝導度が高く、有機薄膜4との仕事関数の整合性がよいものが好ましいが、FETの目的とする出力によって選択すればよい。さらに、保護膜26の材料としては、アルミナや窒化シリコンのような絶縁物などが挙げられる。

【0027】

また、上記有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタ20, 30の各層は、蒸着法、分子線エピタキシー法、高周波スパッタ法などの各種薄膜堆積法やフォトリソグラフィー法やシャドーマスクなどを用いて製造することができる。

【0028】

本発明の有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタ20, 30においては、そのチャネルとなる有機薄膜4がバッファー層3上に形成されているため、その結晶品質が高い。このため、有機薄膜4の電界移動度が向上し、非常に大きな相互コンダクタンス(g_{mm})が得されることになる。これにより、本発明のトランジスタ20, 30によれば、性能の

高いトランジスタが得られる。

【0029】

次に、本発明の有機薄膜を有する基板の製造方法に係る第3の実施形態を説明する。

本発明の有機薄膜を有する基板1は、基板1上に分子層単位でバッファー層3の厚みを制御できる薄膜堆積法によりバッファー層3を堆積し、次に、バッファー層3上に、六方晶系のC₆₀薄膜4などを所望の厚さに堆積することにより製造することができる。

【0030】

また、本発明の有機薄膜を有する基板10は、基板1上にSiO₂などの絶縁膜5を堆積し、次に、絶縁膜5上に分子層単位でバッファー層3の厚みを制御できる薄膜堆積法によりバッファー層3を堆積し、最後に、バッファー層3上に、C₆₀薄膜4を所望の厚さに堆積することにより製造することができる。ここで、基板1に予めSiO₂などの絶縁膜5を堆積しておいて、バッファー層3及びC₆₀薄膜4だけを連続的に堆積してもよい。

【0031】

上記の薄膜堆積方法としては、基板上に分子層単位で少なくともバッファー層3の厚みを制御できる薄膜堆積法であれば、との方法を用いて製造してもよい。もちろん、バッファー層3と共に、C₆₀薄膜4の厚みを分子層単位で制御してもよい。このような、薄膜堆積方法としては、各種真空蒸着法、真空蒸着法の一種である分子線蒸着法及びレーザープレーリション法等が挙げられる。

【0032】

上記堆積法に用いることができる堆積装置の一例を示す。

図5は、本発明の有機薄膜を有する基板の製造に用いる分子線蒸着装置の構成を模式的に示す図である。分子線蒸着装置40は、超高真空チャンバ41内に、基板42を保持するホルダー43と、ヒーターなどの基板加熱手段45とが設けられ、さらに、超高真空チャンバ41の下部に、バッファー層3及び有機薄膜4の蒸発源としての分子線源るっぽ44(44A, 44B)及びルツボ加熱用電源44Cが配設されている。

【0033】

超高真空チャンバ41は、真空排気装置46により排気される。分子線源るっぽ44は、所謂クヌーセンセルであり、るっぽ44の中に入れた個別の蒸発源を加熱して蒸発させる。出てくる蒸気を分子線の形で加熱されている基板42に当て、基板42上に、バッファー層3及び有機薄膜4を堆積させる。分子線源るっぽ44の上部には、シャッタ47が設けられ、基板42への分子線の照射の有無を制御している。

【0034】

また、超高真空チャンバ41には、堆積させるバッファー層3及び有機薄膜4の膜厚を測定するための膜厚測定手段48が配設されている。この膜厚測定手段48としては、堆積させる層の膜厚を分子層単位で制御するために、分解層単位の分解能があればよく、水晶振動子膜厚計や光反射による膜厚計などを用いることができる。

【0035】

さらに、超高真空チャンバ41には、基板への堆積膜厚など基板面内で変化するためのマスク機構49を備えてよい。このマスク機構49としては、1回の成膜で、基板42へ堆積させる薄膜の面内厚さを連続的に変化させることができる、所謂コンビナトリアルマスクが好適である。

【0036】

上述した実施形態においては、本発明による有機薄膜を有する基板、それを用いたトランジスタ、有機薄膜を有する基板の製造方法について説明した。

上記有機薄膜を有する基板に、さらに、トランジスタ構造に必要なゲート絶縁膜や電極は、ゲート絶縁膜や電極層を各種の堆積方法で行い、さらにマスク工程などを用いることによりトランジスタを製造することができる。また、同一基板上に電界効果トランジスタから成る集積回路をも、製造することができる。

【実施例1】

【0037】

実施例1として、表面が【1120】面のサファイア基板2上に、ペンタセン薄膜を用いたバッファー層3とC₆₀薄膜4とを堆積した基板1を製造した。

最初に、サファイア基板2を大気中において、1000°Cで3時間及び750°Cで3時間のアニール処理を施し、原子レベルで平坦なステップテラス構造を有する表面とした。このサファイア基板2を5×10⁻⁸Torrよりも高い真空度にした分子線蒸着装置40(図5参照)内に設置した。また、ルツボ44A及び44Bの蒸着源としては、それぞれ、ペンタセン及びC₆₀を用いた。

次に、サファイア基板2の温度を室温とし、ルツボ44Aの温度を200°C～300°Cに設定し、ルツボ44A内のペンタセンを蒸発させて、1分子層(約15Å)のペンタセンから成るバッファー層3をサファイア基板2上に堆積した。このときのペンタセン薄膜4の成膜速度は、3～4Å/分であった。次に、サファイア基板2の温度を150°Cに設定した後、ルツボ44Bの温度を300°C～400°Cに設定し、ルツボ44B内のC₆₀を蒸発させて、膜厚約150Å(約20分子層)のC₆₀薄膜4をバッファー層3上に堆積した。このときのC₆₀薄膜4の成膜速度は、5Å/分であった。

【0038】

上記有機薄膜を有する基板1の表面を、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて観察した。図6は、実施例1の有機薄膜を有する基板1のC₆₀表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。ここで、観察範囲は1μm×1μmである。図から明らかなように、後述するバッファー層3のない比較例においては多数の結晶粒界が観察されるのに対して、実施例1のC₆₀薄膜4においては結晶粒径が著しく増大し、さらに、ファセット面が観察され、2次元成長が得られていることが分かった。そして、実施例1の基板1は、その平坦性及び結晶性が高く、電界効果トランジスタなどのデバイス化ができた。

【0039】

ここで、上記有機薄膜を有する基板1の各格子定数について説明する。

サファイア基板2は六方晶系であり、その格子定数は、a=4.765Å, c=13.001Åである(非特許文献2参照)。また、バッファー層3のペンタセンは三斜晶系であり、その薄膜の格子定数はバルクとは異なり、a=6.11Å, b=7.61Å, c=15.33Åである(非特許文献3参照)。さらに、実施例1のC₆₀薄膜4は六方晶系であり、その格子定数は実測したところ、a=10.08Å, c=16.31Åであった。また、C₆₀薄膜の格子定数は、例えば、a=10.02Å, c=16.36Åと報告されている(非特許文献4参照)。

【実施例2】

【0040】

C₆₀薄膜4をコンビナトリアルマスクにより、その膜厚を面内で変化させた以外は、実施例1と同様にして基板1を製造した。ペンタセン薄膜のバッファー層3厚みは1分子層であり、C₆₀薄膜4の膜厚は面内で、ほぼ0～500Åの厚み傾斜分布が得られた。

【0041】

図7は、実施例2の有機薄膜を有する基板1のX線回折結果及びRHEED像を示す図である。図の横軸は角度2θ(度)を示し、縦軸は回折X線強度(任意目盛り)を示している。ここで、C₆₀薄膜4の膜厚は、500Åである。図から明らかなように、各回折面からの強度の強い回折が得られた(図6の(002)面など参照)。同様に、RHEED像からも明瞭な電子線回折像(白い線状部分)が得られた。これにより、C₆₀薄膜4の結晶品質が優れていることが分かった。

【0042】

実施例2で得られた有機薄膜4において、C₆₀の膜厚が異なる種々の有機薄膜4の結晶粒径及び移動度を測定した。その結果、C₆₀薄膜4の結晶粒径が大きくなるにつれて、移動度が増大することが分かった。

【実施例3】

【0043】

C₆₀薄膜4をチャネルとする電界効果トランジスタ30を製造した(図4参照)。平坦

化したサファイア基板2上に、真空蒸着法を用いてゲート電極22となるアルミニウムを200～400Å蒸着し、引き続き、RFマグнетロンスパッタ法によりゲート絶縁膜21となる酸化アルミニウムを約2000Å堆積した。次に、実施例1と同様の方法で、酸化アルミニウムから成るゲート絶縁膜21上に、1分子層から3分子層程度のベンタセンバッファー層3と約500ÅのC₆₀薄膜4と、を順次堆積した。堆積には、クヌーセンセルを有する分子線蒸着装置40を使用した。次に、ソース電極23及びドレイン電極24としては、マグネシウム(Mg)を、パルスレーザー堆積法を用いて堆積した。この際、メタルシャドーマスクを用いて素子形成を行った。最後に、素子最上層に保護膜26となるアルミナ薄膜を約5000Å堆積し、実施例3のn型電界効果トランジスタ30を製造した。

【0044】

この実施例3のn型電界効果トランジスタのチャネルの電界移動度は、0.01～0.1cm²/V·sであった。

図8は、実施例3のn型電界効果トランジスタのゲート電圧とドレイン電流(V_g-I_d)特性を示す図である。図において、横軸はゲート電圧(V)、縦軸はドレイン電流(A)を示している。図において、ドレイン電圧は60Vである。

図から明らかなように、ゲート電極22に対して、約-20～60Vのゲート電圧V_gを印加すると、V_g>20Vでは、V_gの変化に対応して、ドレイン電流I_dが変化していることが確認でき、所謂エンハンスマント型のIV特性が得られた。

【0045】

(比較例)

比較例として、実施例1においてバッファー層3を挿入しない基板、即ちサファイア基板2上に直接C₆₀薄膜4を設けた有機薄膜を有する基板を、実施例1と同様に製造した。C₆₀薄膜の厚さは、約150Åであった。

図9は、比較例のC₆₀表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。ここで、観察範囲は1μm×1μmである。図から明らかなように、多数の結晶粒界が観察され、2次元成長ではなく従来の3次元成長であることが分かる。この比較例は、非常に深い結晶粒界が存在し、その後で、電界効果トランジスタなどのデバイス化が困難であった。

【0046】

また、図10は、比較例の有機薄膜を有する基板のX線回折結果及びRHEED像を示す図である。図の横軸は角度2θ(度)を示し、縦軸は回折X線強度(任意目盛り)を示している。ここで、C₆₀薄膜の膜厚は、500Åである。図から明らかなように、殆どX線回折が得られなかった。また、RHEED像においても、明瞭な電子線回折像が得られなかった。これにより、比較例のC₆₀薄膜の結晶性が悪いことが分かった。

【0047】

次に、実施例2及び比較例のC₆₀薄膜の紫外可視吸収スペクトルの比較をした。

図11は、実施例2及び比較例のC₆₀薄膜の紫外可視吸収スペクトルを示す図である。図の縦軸は、吸光度(任意目盛り)を示し、横軸は波長(nm)を示している。ここで、実施例2及び比較例のC₆₀薄膜の膜厚は何れも500Åである。図から明らかなように、比較例に対して実施例2では強度の強い明瞭な吸収が生じた。特に、実施例2では220nmの吸収ピークが観測されるのに対して、比較例では観測されなかった。

これにより、実施例2のC₆₀薄膜4の結晶品質が高いことが明らかになった。

【0048】

本発明は、上記実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれることはいうまでもない。例えば、上記実施の形態で説明したトランジスタは電界効果トランジスタに限らず、他のトランジスタにも適用し得ることは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明に係る第1の実施形態による有機薄膜を有する基板の断面図である。

【図 2】本発明に係る第 1 の実施形態による有機薄膜を有する基板の変形例の断面図である。

【図 3】本発明に係る第 2 の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの構造を模式的に示す断面図である。

【図 4】本発明に係る第 2 の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの変形例の断面図である。

【図 5】本発明の有機薄膜を有する基板の製造に用いる分子線蒸着装置の構成を模式的に示す図である。

【図 6】実施例 1 の有機薄膜を有する基板の C₆₀ 表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。

【図 7】実施例 2 の有機薄膜を有する基板の X 線回折結果及び R H E D 像を示す図である。

【図 8】実施例 3 の n 型電界効果トランジスタのゲート電圧とドレイン電流 (V_g - I_d) 特性を示す図である。

【図 9】比較例の有機薄膜を有する基板の C₆₀ 表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。

【図 10】比較例の有機薄膜を有する基板の X 線回折結果及び R H E D 像を示す図である。

【図 11】実施例及び比較例の C₆₀ 薄膜の紫外可視吸収スペクトルを示す図である。

【図 12】非特許文献 1 の Si 基板上へ堆積した C₆₀ 薄膜の A F M (原子間力顕微鏡) 写真であり、(a) が A F M 像、(B) が C₆₀ 薄膜の断面模式図である。

【符号の説明】

【0050】

1, 10 : 有機薄膜を有する基板

2, 25, 42 : 基板

3 : バッファー層 (ペニタセン薄膜)

4 : 有機薄膜 (C₆₀ 薄膜)

5 : 基板又は / 及びバッファー層と配向しやすい層 (絶縁層)

20, 30 : 有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタ

21 : ゲート絶縁膜

22 : ゲート電極

23 : ソース電極

24 : ドレイン電極

26 : 保護膜

40 : 分子線蒸着長装置

41 : 超高真空チャンバー

43 : ホルダー

44 : るつぼ

44A : バッファー層用るつぼ

44B : 有機薄膜用るつぼ

44C : るつぼ加熱用電源

45 : 基板加熱手段

46 : 真空排気装置

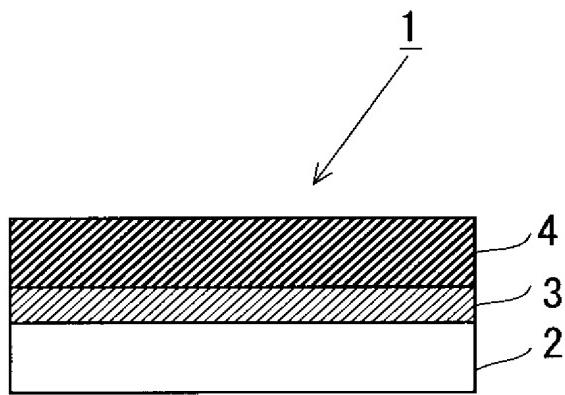
47 : シャツタ

48 : 膜厚測定手段

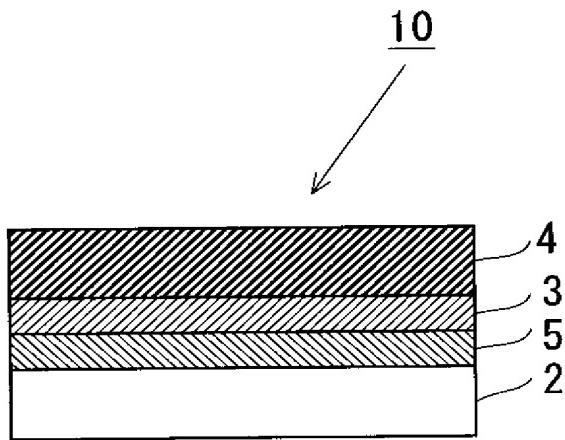
49 : マスク機構

【書類名】 図面

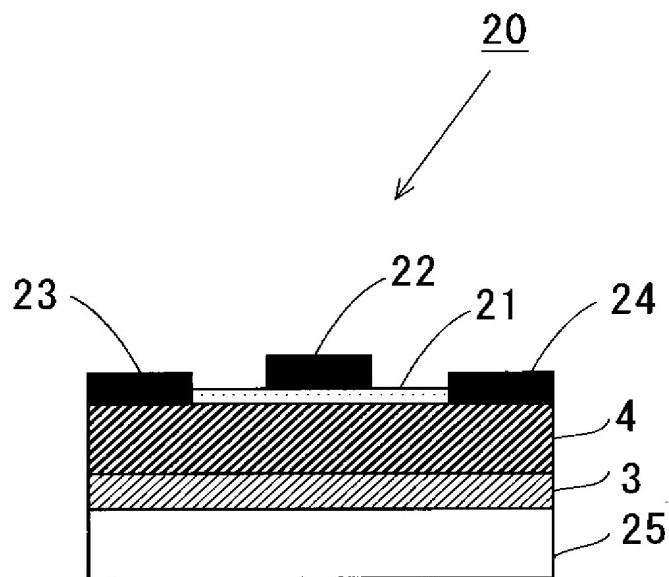
【図 1】



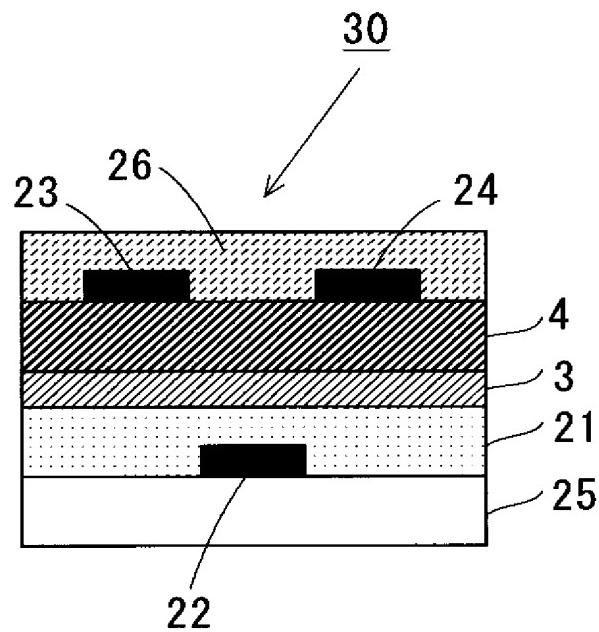
【図 2】



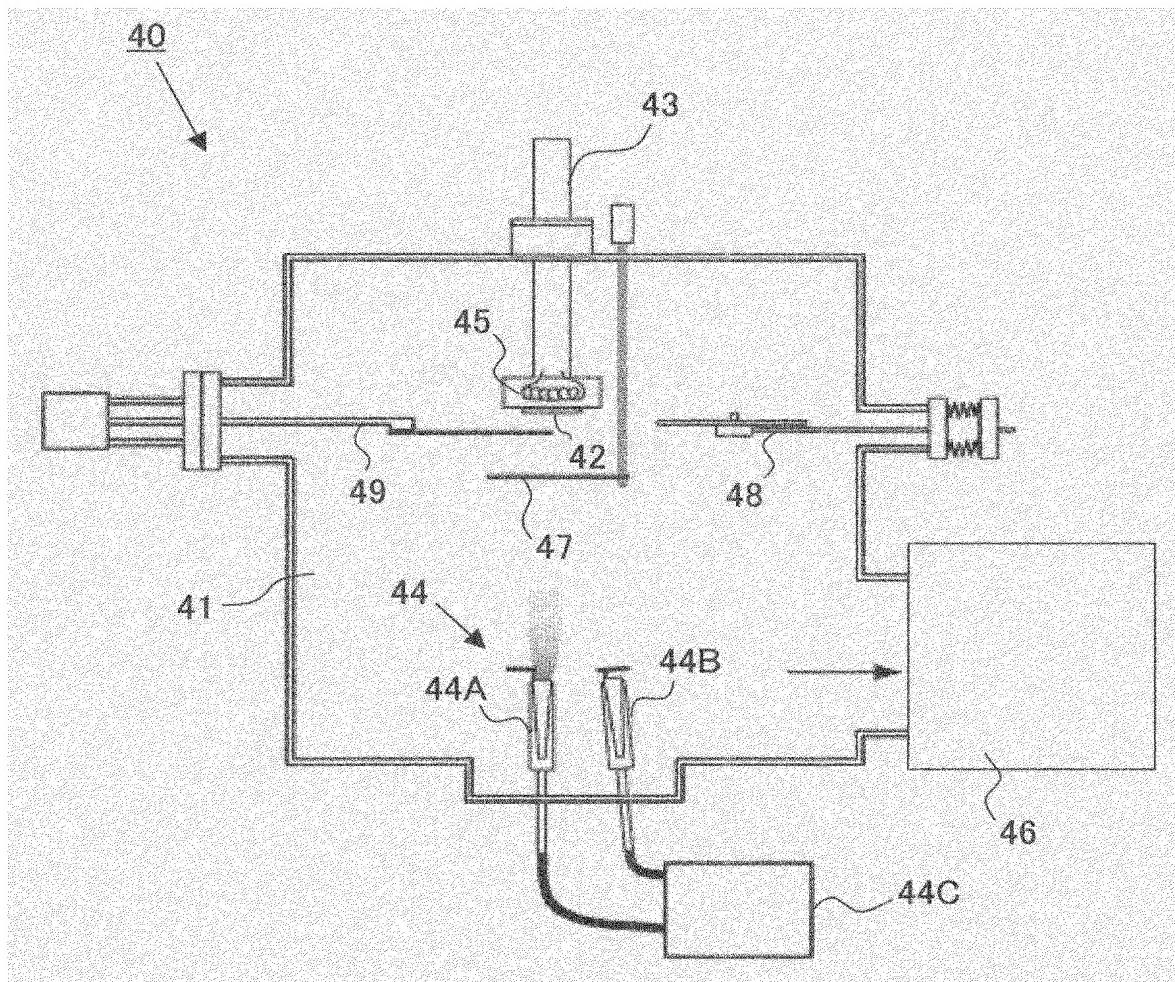
【図 3】



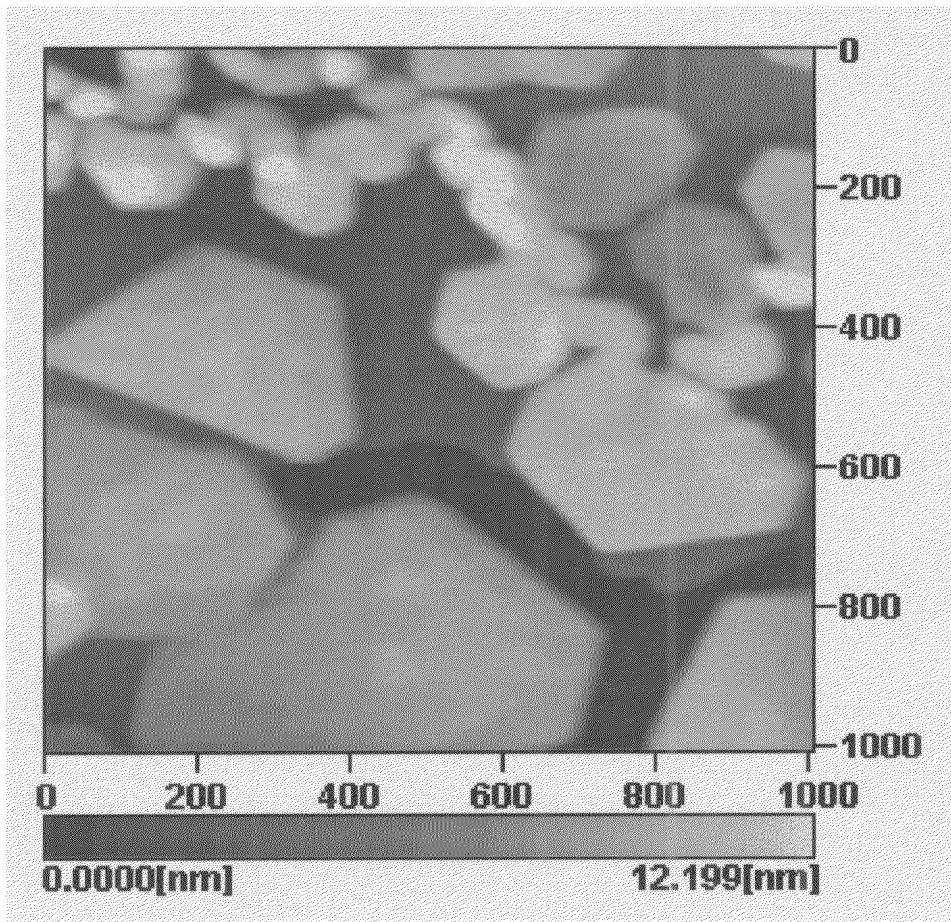
【図 4】



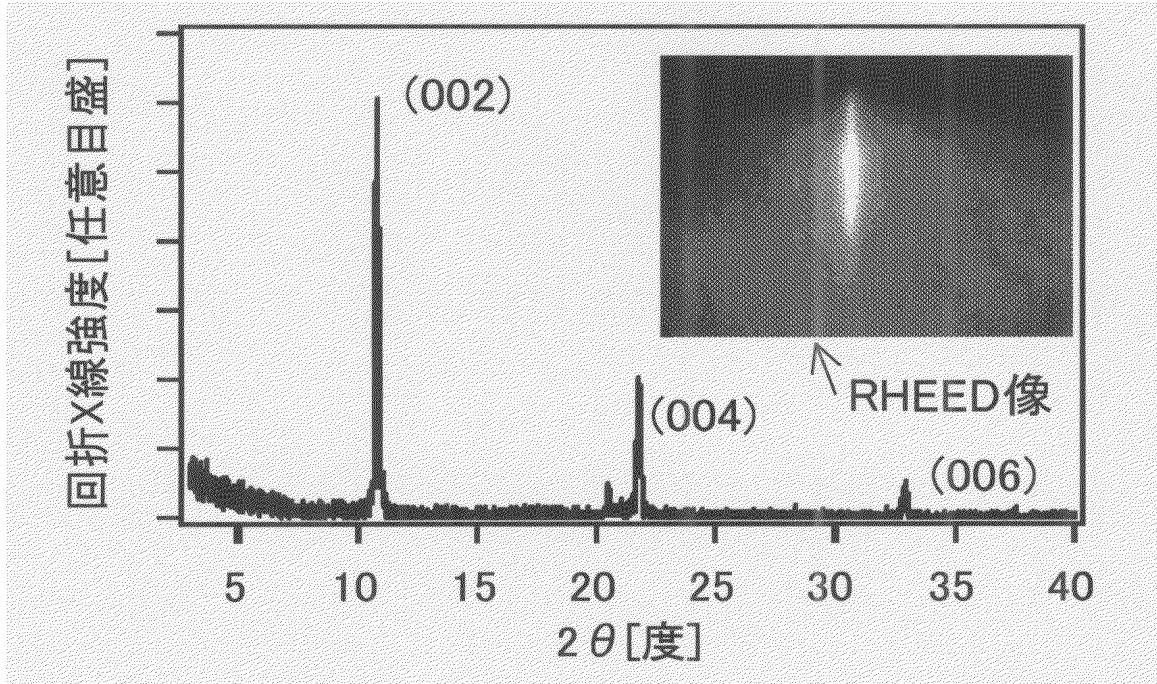
【図 5】



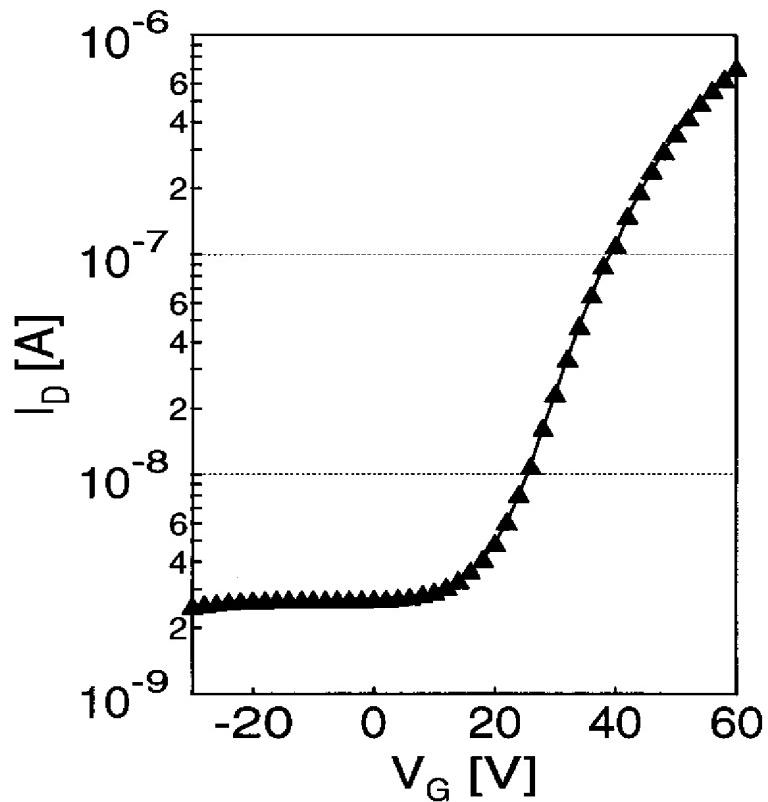
【図 6】



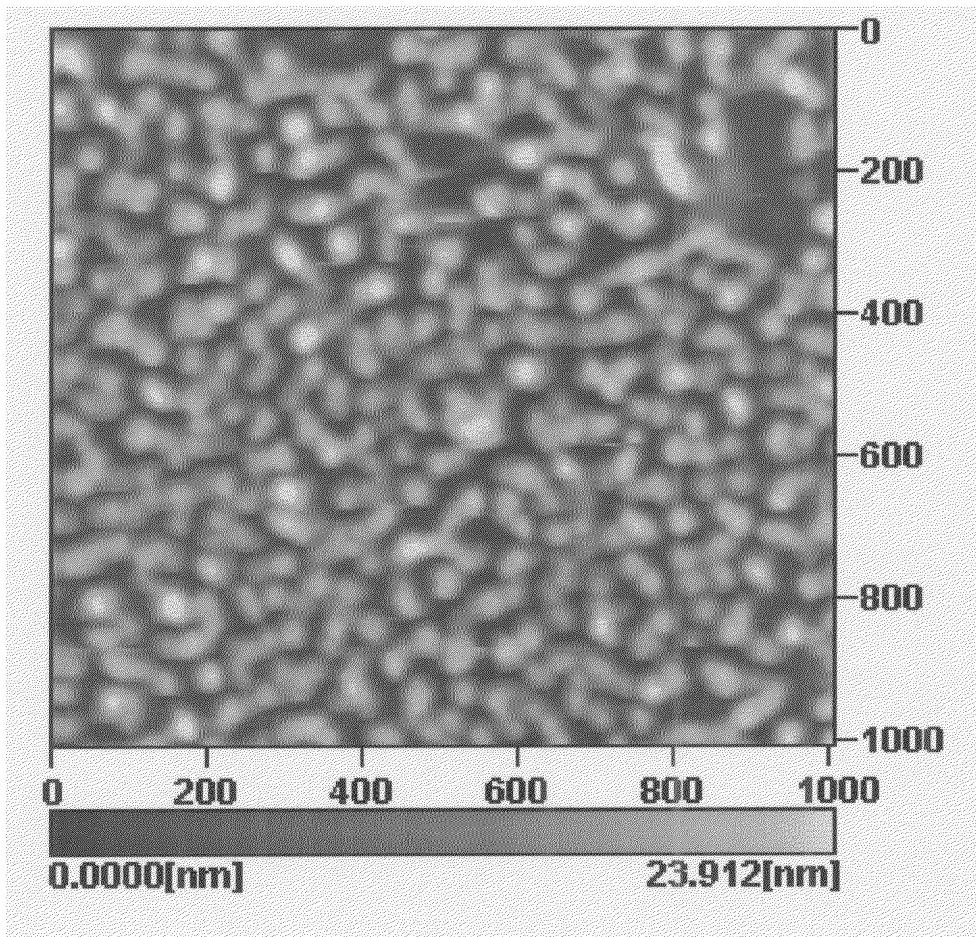
【図 7】



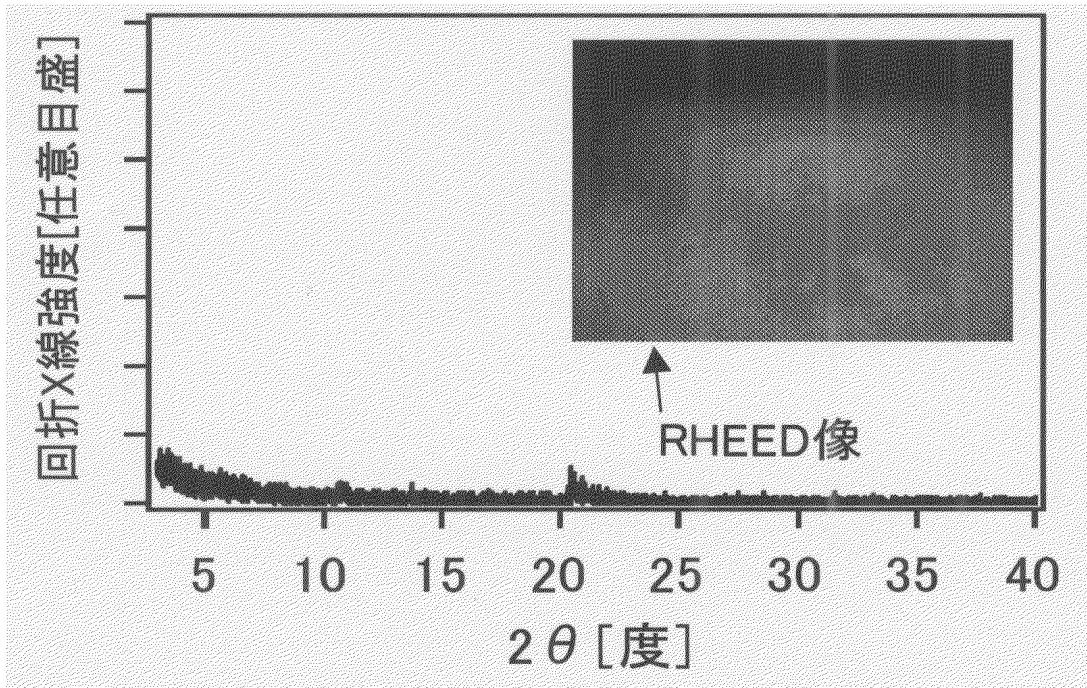
【図 8】



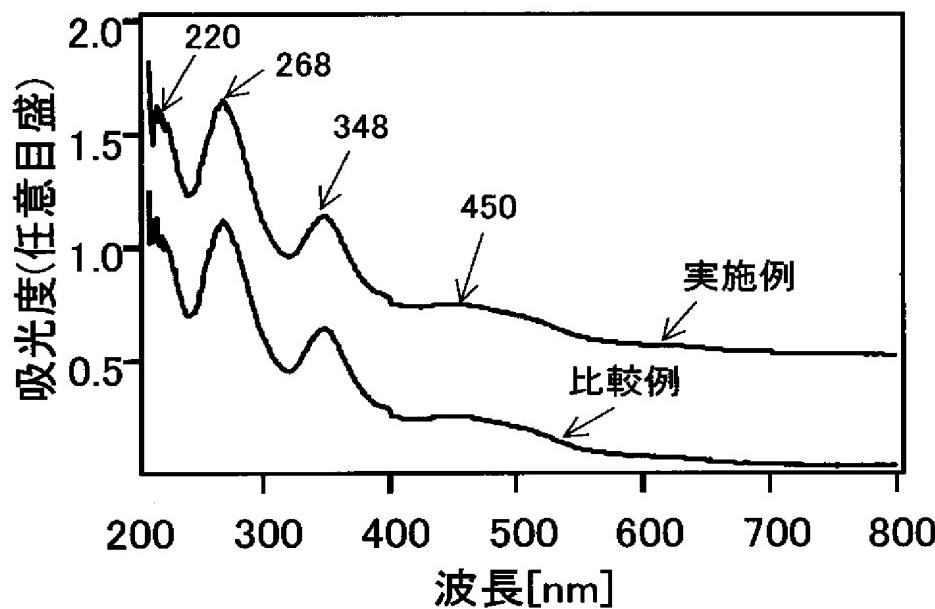
【図 9】



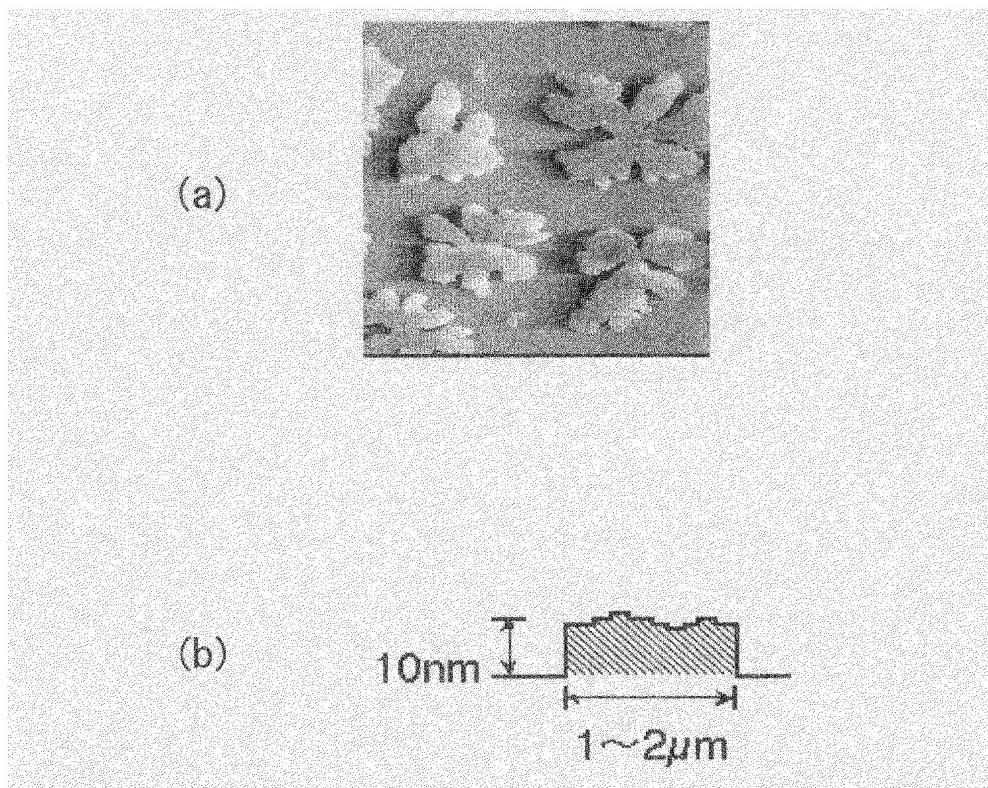
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 C_{60} などの有機薄膜を二次元成長できる、有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 基板2上に、バッファーレイ3と有機薄膜4とを順次積層し、有機薄膜を有する基板1を構成する。さらに、基板1とバッファーレイ3との間に、基板2やバッファーレイ3と配向しやすい層を挿入してもよい。例えば、基板1はサファイア基板、バッファーレイ3はペンタセン、有機薄膜4は C_{60} を用いることができ、品質の高い C_{60} の2次元薄膜を得ることができる。このような有機薄膜を有する基板1を用いることで、性能の高い電界効果トランジスタを実現できる。

【選択図】 図1

出願人履歴

5 0 3 3 6 0 1 1 5

20031001

新規登録

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

独立行政法人 科学技術振興機構

5 0 3 3 6 0 1 1 5

20040401

名称変更

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

独立行政法人科学技術振興機構